

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVA
SMJER: TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU

STJEPAN MIHALJEVIĆ

ENERGETSKA UČINKOVITOST HARVESTERA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2016.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK

ENERGETSKA UČINKOVITOST HARVESTERA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Dubravko Horvat

2. izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar

3. dr. sc. Zdravko Pandur

Student: Stjepan Mihaljević

JMBAG: 0068209880

Broj indeksa: 562/14

Datum odobrenja teme: 31.03.2016.

Datum predaje rada: 21.9.2016.

Datum obrane rada: 29.9.2016.

Zagreb, rujan, 2016.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Energetska učinkovitost harvestera
Title	Energy efficiency of harvester
Autor	Stjepan Mihaljević
Adresa autora	Matice hrvatske BB, Livno, BiH
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Dubravko Horvat
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Zdravko Pandur
Godina objave	2016.
Obujam	I-V, 1-17, 6 slika, 4 tablice,
Ključne riječi	harvester, energetska učinkovitost
Key words	harvester, energy efficiency
Sažetak:	<p>Harvesteri su vozila za kretanje po bespuću, čija je osnovna namjena obaranje stabala i izradba drva kraj panja i u tu svrhu uglavnom se koriste za sječu i izradbu stabala četinjača.</p> <p>Njihova primjena u sječi izradbi stabala listača je manje zastupljena zbog problema kresanja grana koje su kod većine listača krupnije i kut otklona od debla je manji. Zbog toga proizvođači harvesterskih glava pronalaze različita tehnička rješenja kako bi se omogućili što veću primjenu strojne sječe i izradbe i u listačama.</p> <p>U radu će biti prikazan pregled utroška energije harvestera Caterpillar 552 koji radi u dovršnom sjeku hrasta lužnjaka u spačvanskom bazenu, te usporedba sa utroškom energije motorne pile na istom području.</p>

KAZALO SADRŽAJA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	I
KAZALO SADRŽAJA	II
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
PREDGOVOR	V
1. UVOD	1
1.1. HARVESTER.....	1
1.2. ENERGIJSKA UČINKOVITOST.....	5
2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	7
3. MATERIJAL, METODE I OBJEKT ISTRAŽIVANJA.....	8
4. REZULTATI ISTRŽIVANJA.....	10
5. ZAKLJUČAK.....	15
6. LITERATURA	16

POPIS SLIKA

Slika 1. Harvester (www.deere.com)	2
Slika 2. Ovisnost proizvodnosti harvestera o prsnom promjeru stabla (Krpan i Poršinsky, 2002).....	3
Slika 3. Struktura doznake stabala u odsjeku 64f (Pandur, 2013).....	8
Slika 4. Prikaz udjela tehničke oblovine i energijskog drva u odsjeku 64f.(Pandur 2013.).....	10
Slika 5. Udio jediničnog utroška energije prema sastavnicama potrošnje energije harvestera.....	13
Slika 6. Prikaz sastavnica utroška energije na primjeru ručno – strojne sječe i izrade motornom pilom i sječe i izrade harvesterom na području UŠP Vinkovci.....	14

POPIS TABLICA

Tablica 1. Produktivnost i troškovi rada harvesteri i forvarderi u proređi bukve (izvor: Forbig i Enche, 1996).....	5
Tablica 2. Karakteristike harvesteri Caterpillar 552 i harvesteri glave LogMax 12000XT (www.cat.com , www.logmax.com).....	9
Tablica 3. Utrošak energije za proizvodnju harvesteri zajedno sa harvesteri glavom.....	11
Tablica 4. Utrošak energije goriva i maziva kod harvesteri.....	12

PREDGOVOR

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Dubravku Horvatu, te dr. sc. Zdravku Panduru na ukazanoj pomoći i savjetima pri izradi ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji što su mi omogućili studiranje i podržavali me u mojim odlukama.

Stjepan Mihaljević

1. Uvod

Pridobivanje drva dio je eksploatacije šuma, a obuhvaća sječu stabala, njihovu transformaciju u šumske proizvode te micanje stabala ili dijelova stabala iz šume (od panja) do korisnika, prerađivača drva ili tržišta šumskim proizvodima. Dijeli se na fazu sječe i izrade i na fazu transporta (primarni i sekundarni transport). Sječa obuhvaća niz postupnih operacija kojima se stablo dovodi iz dubjećeg (uspravnog) položaja na tlo (potražiti doznačeno stablo, očistiti okolicu stabla, obraditi žilište, odrediti smjer obaranja, izraditi zasjek te potpiljivanjem eliminirati fizičku povezanost debla i panja uz ostavljanje prijelomnice. Izrada je postupak transformacije upotrebljivih dijelova stabla u šumske proizvode a obuhvaća kresanje grana, mjerenje, prikrajanje, trupljenje i kod četinjača koranje. Pored tradicionalne ručno-strojne sječe i izrade (motorna pila lančanica) u posljednje vrijeme se sve više koristi potpuno mehanizirana sječa i izrada harvesterom. Drvo se, izrađeno sortimentnom metodom, po bespuću izvozi forvarderom, a moguća je i primjena ostalih sredstava privlačenja po tlu ili zraku. Dakle, sustav mehaniziranog pridobivanja kratkog drva zasniva se na grupnom radu harvestera i forvardera usklađenih proizvodnih mogućnosti. Harvester izvodi sječu stabala, kresanje grana trupljenje debla, mjerenje sortimenata i njihovo slaganje u hrpe, koje će forvarder utovariti i izvesti do pomoćnog stovarišta.

1.1. Harvester

Harvesteri (slika 1) su vozila za kretanje po bespuću, čija je osnovna namjena obaranje stabala i izradba kratkog drva kraj panja (Drushka i Konttinen, 1997). Kellog i dr. (1993) određuju harvester kao stroj za sječu, kresanje grana, prevršivanje te trupljenje stabala na mjestu sječe. Konstrukcijski se proizvode kao jednozahvatni i višezahvatni strojevi. U današnje doba, proizvode se i višenamjenski harvesteri, tzv. harvarderi koji pored sječe i izradbe stabala vrše privlačenje drva do pomoćnog stovarišta.

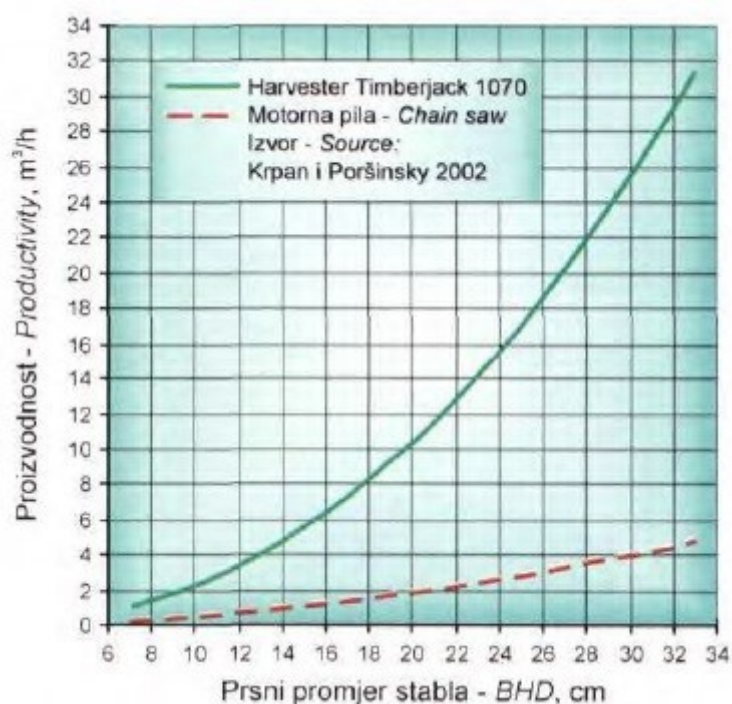


Slika 1. Harvester (izvor: www.deere.com)

Naziv harvester engleske je etimologije te prema Filipovićevom (1991) i Oxfordskom (Hornby, 1993) rječniku znači žetelac, žetelica ili stroj za žetvu. Šasija se harvestera sastoji od dva odvojena okvira. Prednji dio vozila (kabina, hidraulična dizalica sa sječnom glavom) i stražnji (pogonski motor) spojeni su zglobo, s mogućnošću gibanja u vodoravnoj i uspravnoj ravnini. Harvesterom se upravlja preko zgloba, promjenom kuta prednjeg i stražnjeg dijela vozila u vodoravnoj ravnini, što omogućavaju najčešće dva hidraulična cilindra. Kod harvestera s više od 4 kotača, na prednju osovinu se ugrađuje bogi most, kod kojega su po dva kotača smještena jedan blizu drugoga, u tzv. tandem rasporedu. Primjena bogi mosta omogućava amortiziranje vozila pri kretanju po površinskim preprekama bespuća, ali i povećanu stabilnost prilikom obaranja stabla.

Strojna sječa i izradba drva harvesterom, zamjenjuje teški ljudski i za život opasan ručno-strojni rad motornom pilom. Osim navedenoga, ciljevi mehaniziranja ove sastavnice eksploatacije šuma su: podizanje proizvodnosti (slika 2), sniženje troškova proizvodnje, uljudživanje rada te izbjegavanje krize ponude radne snage za rad u iskorištavanju šuma (Krpan, 2000). Pri sječi stabala harvesterom provodi se

kontrolirano obaranje kod čega dolazi do izražaja smanjivanje oštećivanja preostalih stabala u sastojini. Kod čistih sječa, harvester se kreće slobodno po sječini, dok druge vrste sječa (prorede, preborne) zahtijevaju infrastrukturu. Vlake širine 3,5 do 4 metra harvester si tijekom rada prosijeca na određenim međusobnim razmacima (Sambo, 1999). Najjednostavniji međusobni razmak je 20 m, pri kojem harvesteri s hidrauličnom rukom dohvata 10 m, krećući se po vlaki, mogu dosegnuti i oboriti sva stabla. Kod ovakvog načina rada, harvester okresane grane polaže pred kotače vozila čime si poboljšava uvjete nosivosti podloge, odnosno smanjuje oštećenje tla na vlakama.



Slika 2. Ovisnost proizvodnosti harvestera o prsnom promjeru stabla (Izvor: Krpan i Poršinsky, 2002)

Ukoliko je razmak vlaka veći tada se rad harvestera kombinira s ručno-strojnom sječom. Stabla s debelim i pod malim kutom u odnosu na deblo položenim granama, koje ometaju rad harvestera oborit će se i okresati motornom pilom. Takav način rada kao i ograničenje čistih sječa na manjim ploštinama (od 0,5 do 3 ha u Austriji, do 4 ha u Poljskoj) ne ograničava primjenu harvestera, ali značajno utječe na organizaciju i rentabilnost rada kao i na veličinu šteta u sastojini (Moskalik i Paschalis, 1999).

Izvoženje drva izvodi se forvarderom. Određen sortimentnom metodom izradbe drva (cut to length) skupni rad harvestera i forvardera, predstavlja zaokruženu cjelinu kojom se rješava proizvodnja kratke oblovine od sječe i izradbe do privlačenja, te u određenim slučajevima daljinskog transporta drva. U odnosu na ručno-strojnu sječu i izradbu stabala te privlačenje drva zglobnim traktorima vučom drva po tlu, rad harvesterom i forvarderom spada u okolišno prihvatljivije tehnologije proizvodnje obloga drva (Andersson, 1994; Richardson i Makkonen, 1994). Učinkovitost harvestera kreće se u širokom rasponu od 5,5 do 30 m³ po pogonskom satu rada (Bensch i Urbaniak, 2001). Na učinak harvestera djeluje sječna gustoća tj. broj doznačenih stabala po jedinici površine. Osim sječne gustoće na njegov učinak i troškove snažno djeluje zakon obujma komada, jer se njegov učinak s porastom prsnog promjera sječnoga stabla, odnosno obujma stabla povećava (slika 2) uz istodobno smanjivanje troškova rada. Za učinke i troškove harvestera također je odlučan zakon proizvodnje, tj. količina raspoloživog drva za sječu i izradbu tijekom godine. Najbolje će rezultate davati u čistim sječama crnogoričnih sastojina, a prema skandinavskim podacima godišnji je učinak u takvim uvjetima do 40 000 m³ (Wasterlund, 1996). Najveći promjer zahvatanja sječne glave (70 cm) ograničava uporabu harvestera pri obaranju stabala većih dimenzija (Bručić, 1997), dok grada stabala listača te reljefne prilike djeluju na smanjenje učinkovitosti (Krpan, 2000).

U srednjoj Europi, harvester se koristi u proredama listača, ali mu je učinkovitost u odnosu na rad u četinjačama manja za oko 25 % (Pausch, 1999). Smatra se, kako je primjena harvestera u bjelogoričnim sastojinama vezana samo za zimsko razdoblje. To se povezuje s mogućim povećanim oštećenjima sastojine koja nastaju pri primicanju krošnatih oborenih bukovih stabala. U pravilu potrebni su nešto teži strojevi za sječu i izradbu relativno tanjih stabala listača. Godine 1996. u okviru terenskog dijela 12. KWF dana, pripremljen je i ispitan rad harvestera u bukovoj prorednoj sastojini starosti 86 godina. Prsni je promjer srednjeg stabla u sastojini 31 cm, a srednji sječivi promjer 22 cm. Podaci o učincima i troškovima prikazani su u tablici 1 (Forbrig i Enche, 1996). Ova su strana iskustva za nas posebno dragocjena, jer u Hrvatskoj pretežu sastojine bjelogorice.

Tablica 2. Proizvodnost i troškovi rada harvesteri i forvardera u proredi bukve (izvor: Forbig i Enche, 1996)

Prsni promjer stabla-BHD, cm	12	15	18	21	24
Obujam stabla (bez kore), m ³ Volume of tree (bark tree), m ³	0,10	0,17	0,26	0,35	0,40
Učinak po pogonskom satu - Productivity per operating hour					
Harvester, stablo/p.h.-Harvester, tree/p.h.	52	42	34	29	28
Harvester, m ³ /h-Harvester, m ³ /h	5,2	7,2	9,0	10,2	11,5
Forwarder, m ³ /h-Forwarder, m ³ /h	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Troškovi - Costs					
Harvester, DEM/m ³ – Harvester, DEM/m ³	47,31	34,17	27,33	24,12	21,39
Forwarder DEM/m ³ – Forwarder, DEM/m ³	13,80	13,80	13,80	13,80	13,80
Ukupno DEM/m ³ – Total, DEM/m ³	61,11	47,47	41,13	37,92	35,19

Iz podataka se u tablici 1 prepoznaje djelovanje zakona obujma komada. Pogonski sat je dobro odabrana vremenska jedinica za iskazivanje učinka harvestera, jer se radi o visokoproduktivnom stroju. Na učinak forvardera obujam oborenih stabala, odnosno dimenzije izrađenih sortimenata ne djeluje u značajnoj mjeri, jer su u ovoj tehnologiji sortimenti izrađeni od više stabala složeni u jednu hrpu (Bulley, 1999, Poršinsky, 2000). Tako složeno drvo čak i malih pojedinačnih dimenzija omogućuju veću učinkovitost dizalice (Krpan, 1992).

1.2. Energijska učinkovitost

Energijska učinkovitost ili povrat energije u odnosu na uloženu energiju - EROI je odnos dobivene energije iz procesa proizvodnje energije i energije koja je potrebna za izdvajanje, rast i sl. u novi oblik energije. Odnos dobivenog i uloženog u procesu proizvodnje energije ključan je faktor održive globalne energetske opskrbe). EROI se često naziva i kao *procjena energetske dobiti*, *energijska bilanca* ili kao *analiza neto energije*. Prema zakonima fizike, energija ne može biti proizvedena, a da se pri tom dio energije ne utroši, a omjeri u kojima se to događa ključni su pokazatelj efikasnosti procesa u kojem se proizvodnja odvija (Biočina 2010).

EROI se jednostavno izračunava pomoću slijedećeg izraza (Murphy Hall 2010):

$$EROI = \frac{\text{Energy gained}}{\text{Energy required to get that energy}}$$

Brojnik i nazivnik su najčešće u istim mjernim jedinicama pa je dobiveni rezultat bezdimenzijska veličina, npr. 30 : 1, koji se izražava kao „trideset prema jedan“. To znači da smo u procesu proizvodnje npr. drvnog iverja energijske vrijednosti 30 J (Joule) uložili 1 J energije počevši od energije potrebne za proizvodnju strojeva korištenih u procesu pridobivanja drvne sječke, pogonskog goriva za strojeve i naravno energije čovjeka uložene u cijeli proces.

Hohle (2011) istražujući utrošak energije na temelju potrošnje goriva u lancu proizvodnje energijskog drva u obliku debla, tanke oblovinu i granjevine zaključuje da udio energije utrošenog goriva iznosi 3,2 % za deblovinu, 2,8 % za tanku oblovinu i 2,5 % za granjevinu u odnosu na energetska vrijednost drva. Pri tome najveća potrošnja goriva opada na transport drva/sječke te na iveranje.

Lindholm i Berg (2005) iznose podatak na temelju nekoliko studija iz Njemačke, Švicarske i Švedske o jediničnoj potrošnji energije. Tako se kod uzgojnih radova te sječe, izrade i privlačenja utroši od 62 do 135 MJ/m³ energije, dok se kod daljinskog transporta utroši još dodatnih od 92 do 125 MJ/m³ energije kod transportne udaljenosti od 50 km. Iz tog proizlazi da se ukupni jedinični utrošak energije kreće u rasponu od 180 do 230 MJ/m³.

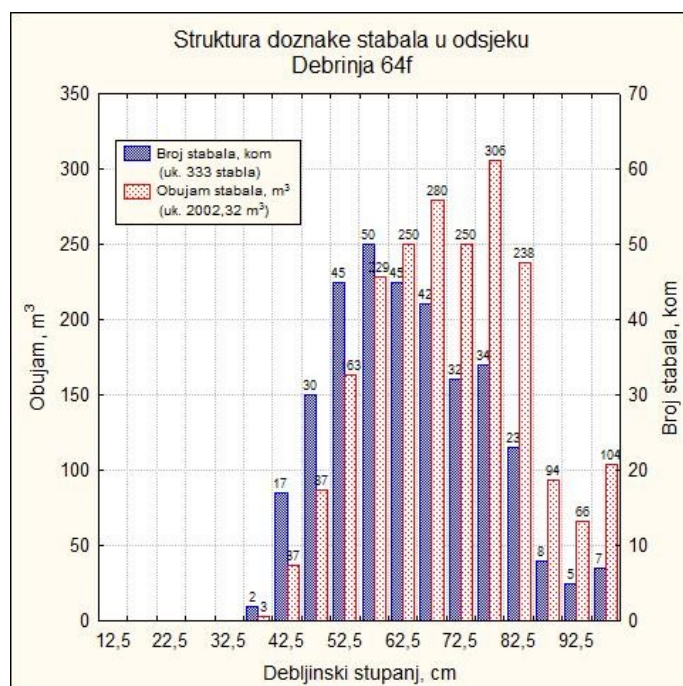
2. Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je izračunati utrošak energije harvesteru na primjeru dovršnog sijeka sastojine hrasta lužnjaka u spačvanskom bazenu. Pri tome predstavlja se model izračuna utroška energije za sastojinu na kojoj je već napravljen izračun energijske učinkovitosti ali sa ručno-strojnomo sječom i izradom stabala motornom pilom. U ovom modelu neće biti izračunata energijska učinkovitost iz razloga što se harvester koristi samo za sječu i izradu visoko vrijedne tehničke oblovine hrasta lužnjaka koja se ne koristi u energetske svrhe.

3. Materijal, metode i objekt istraživanja

Model izračuna utroška energije harvesteru napravljen je na primjeru sastojine hrasta lužnjaka i običnog graba na području UŠP Vinkovci, šumarije Strošinci, GJ Debrinja u odsjeku 64f. U odabranom odsjeku provodi se dovršni sijek sa sortimentnom metodom izradbe stabala pri čemu se sortimenti izrađuju u duljinama koje su višekratnik broja 2 (najkraća duljina sortimenta je 2 m). Na slici 3 prikazana je struktura doznake stabala u istraživanom odjeku 64f.

Podaci o utrošku energije svih ostalih strojeva i vozila za istraživani odsjek i UŠP Vinkovci preuzeti su od Pandur (2013) te je na kraju prikaza usporedba utroška energije kada je sječa i izrada drvnih sortimenata obavljena motornom pilom i model utroška energije kada je umjesto motornom pilom sječa i izrada obavljena strojno harvesterom.



Slika 3. Struktura doznake stabala u odsjeku 64f (GJ Debrinja, dovršni sijek).

Budući da se ovdje radi o dovršnom sijeku sastojine hrasta lužnjaka sa ophodnjom od 140 godina, dimenzije stabala (prsni promjer) nisu namijenjene za harvestere prosječne veličine već je za potrebe ovog modela odabran jedan od najvećih harvesteru koji se može naći na tržištu, a to je Caterpillar 552 sa gusjeničnim kretnim sustavom koji je opremljen sa harvesterom glavom LogMax 12000XT.

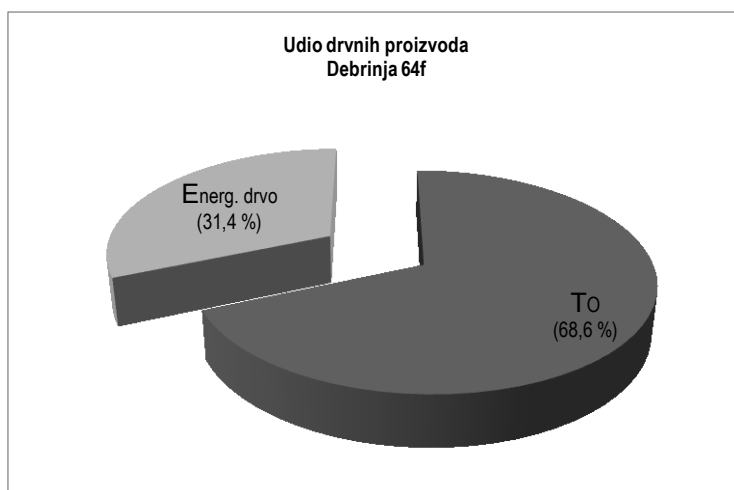
Karakteristike odabranog harvestera i sječne glave prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike harvestera Caterpillar 552 i harvesterske glave LogMax 12000XT.

Harvester Caterpillar 552		Harvesterska glava LogMax 12000XT	
Masa	36.151 kg	Masa	4234 kg
Snaga motora	210 kW pri 2200 o/min	Najveći sječivi promjer	102 cm
Okretni moment	1300 Nm pri 1450 o/min	Najveća otvorenost valjaka	95 cm
Dohvat hidr. dizalice	8,4 m		
Potrošnja goriva	25 l/h		

4. Rezultati istraživanja

Prema Pandur (2013) u odsjeku 64f udio drvnih sortimenata iznosi 68,6 % što znači da je ukupno u tom odsjeku izrađeno 1373,59 m³ drvnih sortimenta (slika 4) koje bi bilo moguće prema ovom modelu izraditi i sa harvesterom.



Slika 4. Prikaz udjela tehničke oblovine i energijskog drva u odsjeku 64f. (prema Pandur 2013.)

Kod izračuna energijske učinkovitosti bitno je obuhvatiti sve ulazne parametre, odnosno u ovom slučaju energiju potrebnu za izgradnju strojeva i alata koji se koriste u postupcima pridobivanja drva, zatim energiju goriva i maziva koju ti strojevi i vozila koriste, energiju potrebnu za izgradnju potrošnog materijala poput pneumatika, lanca, vodilice, lančanika.

Sva utrošena energija u ovom izračunu će se izraziti u odnosu MJ/m³

Parametri za izračun energijske učinkovitosti podijeljeni su na *direktne* i *indirektne* utroške energije.

Indirektni utrošci energije uključuju:

- *Energija potrebna za proizvodnju strojeva i vozila*

U tu energiju uključena je energija potrebna za proizvodnju materijala za strojeve, energija uložena za proizvodnju dijelova i transport novih strojeva od mjesta izrade do kupca, te energija potrebna za recikliranje dotrajalih strojeva (nakon perioda amortizacije).

Prilikom izračuna energije uložene u strojeve i vozila uzeta je vrijednost od 66 MJ/kg (Spinelli i Magagnotti 2011 prema Athanassiadis i dr. 2002).

Tablica 3. Utrošak energije za proizvodnju harvesterâ zajedno sa harvesterskom glavom.

Stroj/vozilo	Broj	Uk. masa	Energija	Uk. energija	Amort. vijek	Učinak	Energijski utrošak
	kom	kg	MJ/kg	GJ	god	m ³ /god	MJ/m ³
Harvester	1	40385	66	2 665,41	10	15 000 ¹	17,77

¹ učinak harvestera prema (Dürstein, 1999) umanjen za 25 % zbog rada u tvrdim listačama (prema Pausch 1999).

Dürstein (1999) navodi da u Austriji radi oko 110 harvesterâ s godišnjim prosječnim učinkom od 1,5 do 2,0 mil. m³ drva (bez kore) dok Pausch (1999) navodi da se u srednjoj Europi harvester koristi i u proredama listača, ali mu je učinkovitost u odnosu na rad u četinjačama manja za oko 25 %. Na temelju tih podataka izračunato je da bi u ovom slučaju i u ovakvim uvjetima proizvodnost harvestera bila 15 000 m³ na godišnjoj razini.

Masa stroja/vozila uzeta je iz kataloga proizvođača harvestera i harvesterske glave i ona iznosi ukupno 40 385 kg.

Ukupna uložena energija za proizvodnju materijala, izgradnju i dopremu stroja/vozila dijeli se na godine amortizacije stroja/vozila, a rezultat na kraju sa godišnjom proizvodnošću stroja/vozila. Iz tog razloga potrebno je poznavati i amortizacijski vijek harvestera gdje on u ovom slučaju iznosi 10 godina.

U konačnici kao što je prikazano u tablici 3, jedinični utrošak energije za proizvodnju i dopremu harvestera uz predviđeni godišnji učinak u tvrdim listačama iznosi 17,77 MJ/m³.

Direktni utrošci energije uključuju:

- *Potrošnja goriva i maziva*

Za proračun ukupne energijske vrijednosti goriva i maziva korištene su vrijednosti koje navode Spinelli i Magagnotti (2011) te Picchio i dr. (2009) gdje za dizelsko gorivo daju vrijednost u iznosu od 51,5 MJ/kg i za ulja (maziva) 83,7 MJ/kg.

Budući da se energijska vrijednost goriva uglavnom iskazuje u jedinici kg/m^3 , a potrošnja goriva i maziva se mjeri u l/m^3 , sve količine goriva i maziva su preračunate u kg/m^3 uz pomoć gustoće goriva koje navodi Kraut (1981). Gustoća benzina u tom slučaju iznosi 0,72 kg/l , plinskog ulja (dizela) 0,875 kg/l i maziva (ulja) 0,832 kg/l pri 80°C.

Proizvođač istraživanog harvestera navodi da se njegova potrošnja kreće oko 25 l/h . Slugeň i dr. (2014) navode da potencijalna učinkovitost harvestera u sastojini hrasta iznosi 7,48 m^3 po radnom satu stroja uključujući pauzu od 15 minuta.

Kako prema Pandur (2013) u odsjeku ima 1373,59 m^3 drvnih sortimenata, a učinak harvestera prema Slugeň i dr. (2014) iznosi 7,48 m^3/h dobije se da za tu količinu drvnih sortimenata harvester mora utrošiti 183,63 radna sata što daje ukupnu količinu utrošenog goriva u iznosu od 4590,1 litara, odnosno jedinični utrošak goriva u iznosu 3,34 l/m^3 ili 2,9225 kg/m^3 .

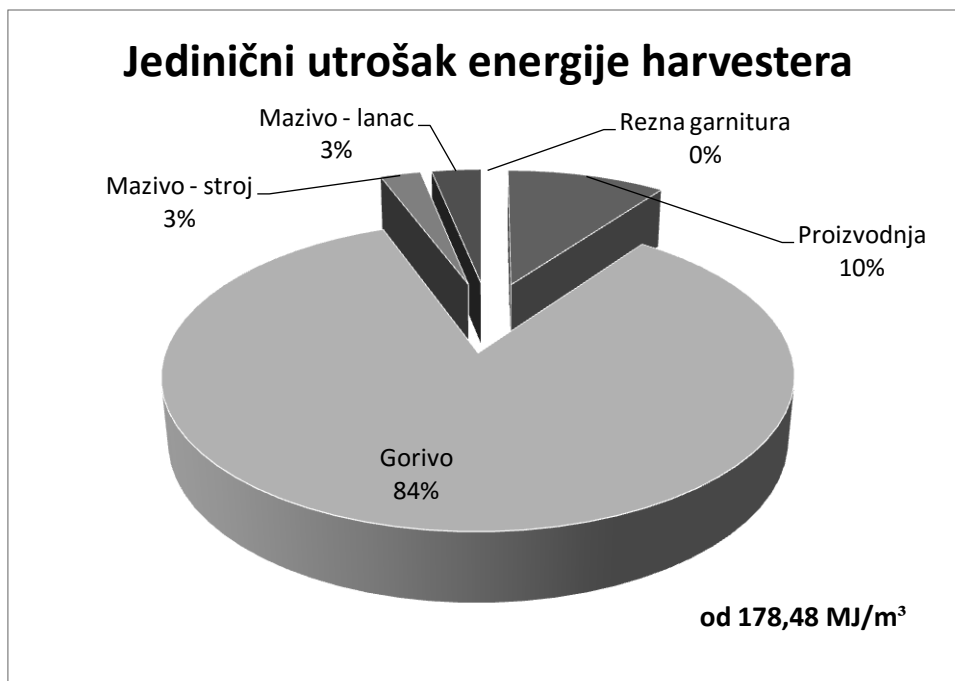
Jedinični energijski utrošak maziva za potrebe rada pogonskog motora harvestera uzet je prema Pandur (2013) koji izračunava isti za forvarder i koji iznosi 4,55 MJ/m^3 .

Za energijski utrošak maziva koje služi za podmazivanje lanca pile na harvesterskoj glavi uzeti su podaci od Pandur i dr. (2015) koji izračunava energijski utrošak maziva na motornoj pili. Jedinični utrošak maziva u tom slučaju iznosi 5,57 MJ/m^3 .

Tablica 4. Utrošak energije goriva i maziva kod harvestera.

Stroj/vozilo	Jed. utrošak goriva	Energija goriva (51,5 MJ/kg)	Utrošak energije maziva - stroj	Utrošak energije maziva - lanac
	kg/m^3	MJ/m^3	MJ/m^3	MJ/m^3
Harvester	2,9225	150,51	4,55	5,57

Za količinu utrošene energije rezne garniture (lančanik, vodicica i lanac) uzeti su podaci od Pandur (2013) koji izračunava utrošak energije za proizvodnju rezne garniture kod motornih pila. Jedinični utrošak energije u ovom slučaju iznosi 0,094 MJ/m^3 .

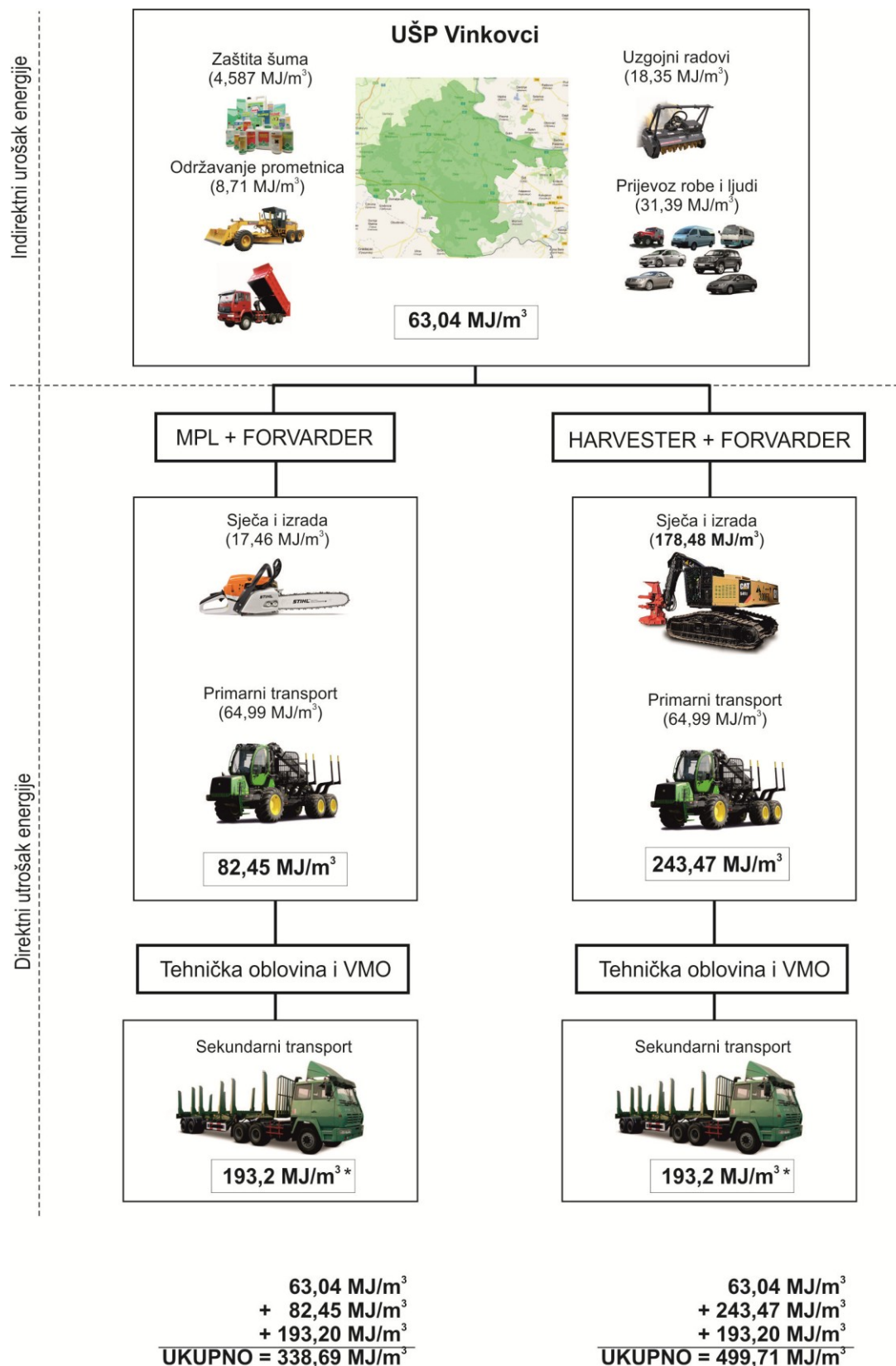


Slika 5. Udio jediničnog utroška energije prema sastavnicama potrošnje energije harvestera.

Prema slici 5 vidljivo je kod harvestera najveći udio u utrošku energije predstavlja upravo gorivo u iznosu od 84 %. Sličan podatak su dobili Pandur i dr. (2015) gdje su za sve strojeve i vozila koji sudjeluju u lancu proizvodnje na području UŠP Vinkovci dobili udio potrošnje goriva u iznosu od 86 %.

Na shemi koju prikazuje slika 6 vidljivo je da je ukupni utrošak energije harvestera prilikom sječe i izrade deset puta veći od utroška energije motorne pile. U konačnici ukupni utrošak energije zajedno sa primarnim i daljinskim transportom te indirektnim utrošcima energije za UŠP Vinkovci kod primjene harvestera je za 50 % veći nego kod primjene motorne pile.

Povoljna strana sječe i izrade harvesterom je ta da harvester nema kišnih dana i radnik koji rukuje harvesterom nije toliko izložen opasnosti i fizičkom naporu kao radnik koji rukuje motornom pilom.



* srednja udaljenost prijevoza 53 km

Slika 6. Prikaz sastavnica utroška energije na primjeru ručno – strojne sječe i izrade motornom pilom i sječe i izrade harvesterom na području UŠP Vinkovci.

5. Zaključak

Rezultati prikazani u ovom radu nam pokazuju utrošak energije harvestera koji radi u dovršnom sijeku hrasta lužnjaka te usporedba sa utroškom energije motorne pile u istoj sastojini.

Rezultati nam pokazuju da harvester Caterpillar 552 sa harvesterskom glavom LogMax 12000XT ipak nebi mogao posjeći sva stabla u dovršnom sijeku u ovoj sastojini. 7 stabala ima prsni promjer blizu 100 cm, što znači da su pri žilištu još deblja. Znači da bi nam uz ovaj harvester bio potreban još jedan sjekač sa motornom pilom kako bi mogao posjeći preostale hrastove velikih dimenzija, a i kako bi pomogao pri kresanju debljih grana.

Udio jediničnog utroška energije prema sastavnicama potrošnje energije harvestera nam pokazuje da najveći udio u potrošnji energije predstavlja gorivo sa 84%, slično kako i kod ostalih strojeva i vozila koji sudjeluju u procesu proizvodnje u UŠP Vinkovci.

Treba napomenuti da su svi izračuni uzimali u obzir standardnu srednju udaljenost prijevoza za UŠP Vinkovci a to je 53 km.

Usporedba sastavnica utroška energije ručno-strojne sječe i izrade motornom pilom i strojne sječe i izrade harvesterom na području UŠP Vinkovci nam pokazuje da je ukupni utrošak energije harvestera prilikom sječe i izrade deset puta veći od utroška energije motorne pile. U konačnici ukupni utrošak energije zajedno sa primarnim i daljinskim transportom te indirektnim utrošcima energije za UŠP Vinkovci kod primjene harvestera je za 50 % veći nego kod primjene motorne pile. Ukupni utrošak energije pri uporabi harvestera je veći za otprilike 162 MJ/m^3 nego kod motorne pile što predstavlja veliku razliku.

6. Literatura

1. Andersson,B., 1994: Cut-to-lenght and tree-lenght harvesting systems in central Alberta: a comparison. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Rep. TR-108. 1-32.
2. Altin, R., Çetinkaya, S., Yücesu, H. S., 2001: The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. Energy Conversion and Management, 42, 529-538.
3. Bensch, P., Urbaniak, W., 2001: Timberjack today and for ever. Sammelbuch "Stand und Entwicklung der Forstlichen Verfahrenstechnik an der Wende des Jahrhunderts", 34. Internationales Symposium "Mechanisierung Der Waldarbeit" Forstliche Fakultät Varschau, Polen, 10.-13. Juli 2000, 15-21.
4. Bručić, G., 1997: Morfološka prosudba nekih značajki harvesterskih glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-31.
5. Bulley, B., 1999: Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning. For. Eng. Res. Inst. Can. (FERIC), Pointe-Claire, Que. Tech. Note TN-292. 1 -8.
6. Drushka, K., Konttinen , H., 1997: Tracks in the Forests - The Evoluation of Logging Machinery. Timberjack Group Oy, Helsinki, Finland, 1-254.
7. Dürstein, H., 1999: Zukünftige Aufgaben der Forsttechnik in Qstercich. Sammelbuch 33. Internationales Symposium "Mechanisierung der Waldarbeit", Zalcsina - Delnice -Senj, Forstliche Fakultät Zagreb,Kroatien, 1.-6. Juli 1999, 141-151.
8. Engel, A.M., Wegener, J., Lange, M., 2012: Greenhouse gas emissions of two mechanized wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. European Journal of Forest Research, 131, 1139-1149
9. Filipović , R., 1991: Englesko-hrvatski riječnik. Školska knjiga i Grafički zavod Hrvatske, 1-1435.
10. Forbrig,A., Encke,B.G., 1996: 12. KWF Tagung, Tagungsfuehrer, KWF e. V. & AFZ/Der Wald, Gross Umstadt 1996,1-136.

11. Grägg, K., 1994: Effects of environmentally classified diesel fuels, RME and blends of diesel fuels and RME on the exhaust emission. MTC, Report 9209B, 44 p.
12. Hornby, A.S., 1993: Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. Oxford University Press, Waltonton Street, Oxford OX2 6DP, 1579p
13. Hohle, A. M. E., 2011: Energy consumption by energy wood supply. FORMEC 2011 – Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering, October 9-13, 2011, Graz – Austria: poster.
14. Kellogg, L.D., Bettinger, R., Studier, D., 1993: Terminology of Ground-Based Mechanized Logging in the Pacific Northwest. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. Research Contribution 1, 1-12.
15. Krpan, A.P.B., 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj (Possibilities of implementation of high technologies in forest harvesting in Croatia). Znanstveni skup "Vrhunske tehnologije u uporabi šuma", Zagreb, 11. travnja 2000., HAZU, Znanstveno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, 45-63.
16. Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2002A: Produktivnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora (Productivity of Timberjack 1070 Harvester in Scotch Pine Thinning). Šumarski list 126 (11-12): 551-561.
17. Krpan, A.P.B., 1992: Analiza čimbenika daljinskog transporta drva. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-264
18. Kraut, B., 1981: Strojarski priručnik, sedmo hrvatsko ili srpsko izdanje. Tehnička knjiga Zagreb, 222-230
19. Lindholm, E.L., Berg, S., 2005: Energy use in Swedish forestry in 1972 and 1997. International Journal of Forest Engineering, 16(1), 27-37.
20. McDonnell, K.P., 1996: Semi-refined rapeseed oil (SRO) as a diesel fuel extender for agricultural equipment. Doctoral thesis. University College Dublin, Agricultural and Food Engineering Department, Dublin, 288 p.
21. Moskalik, T., Paschalis, R., 1999: Probleme der maschinellen Holzernte in Polen. Sammelbuch 33. Internationales Symposium "Mechanisierung der Waldarbeit",

- Zalesina - Delnice - Senj, Forstliche Fakultät Zagreb, Kroatien, 1.-6. Juli 1999, 173-179
22. Murphy, D.J., Hall, C.A.S., 2010: Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of the New York Academy of Sciences*, [Vol. 1185, Ecological Economics Reviews](#), 102–118.
 23. Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-312.
 24. Pandur, Z., Šušnjar, M., Zorić, M., Nevečerel, H., Horvat, D., 2015: Energy Return on Investment (EROI) of Different Wood Products. *Precious Forests – Precious Earth*, Edited by Miodrag Zlatić. Published by InTech, 165-184.
 25. Pausch, R., 1999: Versuchsergebnisse zu Produktivitaet und Pfleglichkeit hochmechanisierter Starkholzernte. 33. Internationales Symposium "Mechanisierung der Waldarbeit", Zalesina - Delnice - Senj, Forstliche Fakultät Zagreb, Kroatien, 1.-6. Juli 1999, Vortrag, 1-18.
 26. Richardson, R., Makkonen, I., 1994: The performance of cut-to-lenght system sin eastern Canada. Forrest Engineering Research Institute of Canada, Pointe - Claire, Quebec, Canada, Techical Report TR-109, pp 16.
 27. Slugeň, J., Peniaško, P., Mesingerova, Valeria, Jankovsky, M., 2014: Productivity of John Deere harvester unit in deciduous stands. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 62 (1), 231-238.
 28. Wasterlund, I., 1996: Environgentle forestry operations possible or must. *Proceedings of the seminar Progresses in Forest Operations*, 8 May 1996, Ljubljana, Slowenia, 9-14.
 29. hr.m.wikipedia.org